

English - language abstract
of first-nationed reference

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-265298

(43)Date of publication of application : 06.10.1998

(51)Int.Cl.

C30B 29/38

C30B 23/08

H01L 21/203

(21)Application number : 10-062656

(71)Applicant : SHARP CORP

(22)Date of filing : 13.03.1998

(72)Inventor : HOOPER STEWART EDWARD
KEAN ALISTAIR HENDERSON
DUGGAN GEOFFREY

(30)Priority

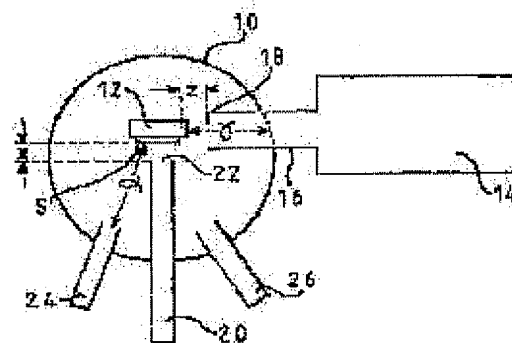
Priority number : 97 9705233 Priority date : 13.03.1997 Priority country : GB

(54) MOLECULAR BEAM EPITAXY

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an improved method for epitaxially growing a group III nitride material by molecular beam epitaxy.

SOLUTION: This method for growing the layer of the group III nitride material on a substrate by the molecular beam epitaxy includes a stage for arranging the substrate in a vacuum chamber 10, a stage for reducing the pressure in this vacuum chamber down to the pressure adequate for epitaxy growth by the molecular beam epitaxy, a stage for supplying ammonia through the outlet 22 of a first supply pipe 20 into the vacuum chamber and allowing the ammonia to flow toward the substrate and a stage of supplying a group III element in an element form through the outlet of a second supply pipe into the vacuum chamber, allowing the group III element to flow toward the substrate and growing the layer of the group III nitride on the substrate by the molecular beam epitaxy. The outlet of the first supply pipe in this method is arranged nearer the substrate than the outlet of the second supply pipe.



(43)公開日 平成10年(1998)10月6日

FI

D

M

M

審査請求 未請求 請求項の数16 O.L (全 8 頁)

(21)出願番号 特願平10-62656

(22)出願日 平成10年(1998)3月13日

(31)優先権主張番号 9705233. 6

(32)優先日 1997年3月13日

(33)優先権主張国 イギリス (GB)

(71)出願人 000005049

シャープ株式会社

大阪府大阪市阿倍野区长池町22番22号

(72)発明者 スチュアート エドワード フーパー

イギリス国 オーエックス4 1エヌエイ

チ オックスフォード, ストーン スト

リット 4

(72)発明者 アリスター ヘンダーソン キーン

イギリス国 オーエックス44 7ティーテ

イー オックスフォードシャー, スタダ

ンプトン, スクール ヤード 4

(74)代理人 弁理士 山本 秀策

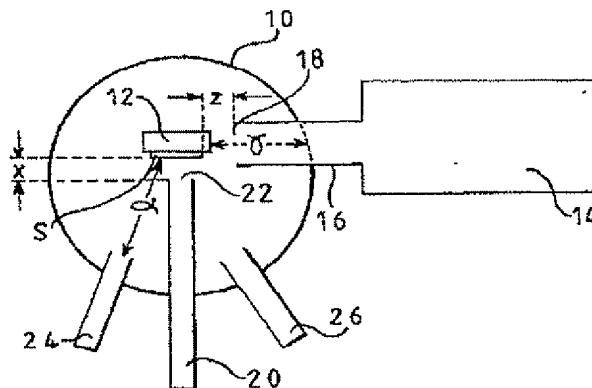
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 分子線エピタキシ法

(57) 【要約】

【課題】 分子線エピタキシによりⅠⅠⅠ族窒化物材料をエピタキシャルに成長させる改良方法を提供する。

【解決手段】 分子線エビタキシによってⅠⅠⅠ族窒化物材料の層を基板上に成長させる方法は、真空チャンバ内に基板を配置する工程と、真空チャンバ内の圧力を分子線エビタキシによるエビタキシシャル成長に適切な圧力に減少させる工程と、アンモニアを第1の供給管の出口を通して真空チャンバ内に供給し、アンモニアを基板に向けてフローさせる工程と、ⅠⅠⅠ族元素を元素形態で第2の供給管の出口を通して真空チャンバ内に供給し、ⅠⅠⅠ族元素を基板の方にフローさせ、ⅠⅠⅠ族窒化物を含有する層を分子線エビタキシによって基板上に成長させる工程とを包含する。この方法において第1の供給管の出口は、第2の供給管の出口よりも基板により近接して配置されている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 分子線エピタキシによってIII族窒化物材料の層を基板上に成長させる方法であって、

(i) 真空チャンバ内に基板を配置する工程と、

(ii) 該真空チャンバ内の圧力を分子線エピタキシによるエピタキシャル成長に適切な圧力に減少させる工程と、

(iii) アンモニアを第1の供給管の出口を通して該真空チャンバ内に供給し、該アンモニアを該基板に向けてフローさせる工程と、

(iv) III族元素を元素形態で第2の供給管の出口を通して該真空チャンバ内に供給し、該III族元素を該基板の方にフローさせ、これによって、III族窒化物を含有する層を分子線エピタキシによって該基板上に成長させる工程と、を包含し、該第1の供給管の該出口が、該第2の供給管の該出口よりも該基板により近接して配置されている、方法。

【請求項2】 前記圧力が、前記基板と前記真空チャンバの隣接する壁との間に配置され、該隣接する壁から間隔を置いて配置されている少なくとも1つの排気口を介して減少される、請求項1に記載の方法。

【請求項3】 前記アンモニアが、エピタキシャル成長が起こっている前記基板の表面に対し横向き方向に排出される、請求項1に記載の方法。

【請求項4】 前記第1の供給管の前記出口が、 $0.1\alpha < x < 0.7\alpha$ である距離 x だけ前記基板の前記表面から間隔を置いて配置され、 α が、該基板の該表面と、前記第2の供給管の前記出口との間の距離である、請求項3に記載の方法。

【請求項5】 $0.2\alpha < x < 0.5\alpha$ である、請求項4に記載の方法。

【請求項6】 x が約 0.4α である、請求項4に記載の方法。

【請求項7】 前記アンモニアが、エピタキシャル成長が起こっている前記基板の表面を横切って排出される、請求項1に記載の方法。

【請求項8】 前記第1の供給管の前記出口が、前記基板の側縁部に隣接して配置されている、請求項7に記載の方法。

【請求項9】 前記第1の供給管の前記出口が、 $0.0\beta < y < 0.7\beta$ である距離 y だけ前記基板の前記側縁部から間隔を置いて配置され、 β が、該基板の該側縁部と、前記真空チャンバの隣接する壁との間の距離である、請求項8に記載の方法。

【請求項10】 $0.1\beta < y < 0.3\beta$ である、請求項9に記載の方法。

【請求項11】 y が約 0.1β である、請求項9に記載の方法。

【請求項12】 前記排気口と前記基板の側縁部との間の距離 z が、 $0.0\gamma < z < 1.0\gamma$ であり、 γ が該基

板の該側縁部と、前記真空チャンバの前記隣接する壁との間の距離である、請求項2に記載の方法。

【請求項13】 $0.1\gamma < z < 0.3\gamma$ である、請求項12に記載の方法。

【請求項14】 z が約 0.1γ である、請求項12に記載の方法。

【請求項15】 前記第1の供給管の前記出口が、該第1の供給管の該出口と前記基板との間の距離が、エピタキシャル成長期前または成長期中に調整され得るように調整可能である、請求項1に記載の方法。

【請求項16】 請求項1に記載の方法を実施するように構成および適合されている装置であって、真空チャンバと、該真空チャンバ内の1つの位置に前記基板を支持するように配置されている支持体と、該チャンバに対する少なくとも1つの真空出口と、該真空チャンバに開口しているそれぞれの出口を有する第1および第2の供給管とを有し、該第1の供給管が、使用している該基板に向けてアンモニアのフローを供給するように作用し、該第2の供給管が、III族元素を元素形態で供給するように作用し、該第1の供給管の該出口が、該第2の供給管の該出口よりも該位置により近接して配置されている、装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、GaNなどのIII族窒化物半導体材料をエピタキシャル成長させる分子線エピタキシ(MBE)法に関する。

【0002】

【従来の技術】III族窒化物半導体材料の基板上でのエピタキシャル成長は、分子線エピタキシ(MBE)法、または気相エピタキシ(VPE)法としても知られている化学蒸着法(CVD)によって行われ得る。

【0003】CVD(またはVPE)は、通常、大気圧の装置中で行われるが、わずかに減圧(通常、約10KPa)されて行われることもある。アンモニアおよびエピタキシャル成長に用いられる少なくとも1つのIII族元素を提供する種は、エピタキシャル成長させる基板の表面に対して実質的に平行に供給され、基板表面に隣接し、基板表面を横切って流れる境界層を形成する。この気体境界層において分解が生じ、エピタキシャル堆積される窒素および他の元素を形成し、エピタキシャル成長は気相平衡によって駆動される。CVDプロセスを用いて窒化ガリウムのエピタキシャル成長を向上させるために、基板を横切るガス状反応物のメインフローの方向を変更する目的で、基板と垂直な不活性ガスのサブフロー(sub-flow)を用い、反応ガスを基板に接触させることがAppl. Phys. Lett. 58、

(18)、1991年5月6日、2021から2023頁において提案されている。しかし、このような改良されたCVD技術であっても、高品質エピタキシャル堆積

を促進させるためには高い成長温度を必要とする。しかし、成長温度を高くすると、不要な汚染物の遊離および基板からの堆積材料の蒸発の増加などの不利な点が生じる。

【0004】窒化ガリウムのエピタキシャル成長用のCVD (またはVPE) 装置の他の形態は、J. Electrochem. Soc.、125、(1978)、1161から1169頁に開示されている。この文献は、アンモニアの分解におけるガリウムおよび窒化ガリウムの触媒活性を開示している。このような装置において、塩化水素は、炉のソースゾーン内のボート (boat) に含まれるガリウムを通り越し、塩化ガリウムを生成する。塩化ガリウムは、炉の中心ゾーンを通過し、ここにアンモニアが導入される。次に、塩化ガリウムおよびアンモニアは、基板が設けられている炉の堆積ゾーンまで通過し、エピタキシャル成長は、気相エピタキシャルによって起こり得る。このとき、ガリウムまたは窒化ガリウムの助けによって、アンモニアは気相分解され、窒素を形成する。

【0005】CVD (またはVPE) とMBEとの基本的な相違は、当業者にはよく理解される。基本的に、GaN系に適用されるMBEの場合、超高真空 (UHV) 環境 (通常、約 1×10^{-3} Pa) が、比較的低い基板温度 (通常、約750°C) で用いられ、アンモニアまたは他の窒素前駆体は、供給管によってMBEチャンバに供給され、ガリウムを提供する種、ならびに場合によっては、インジウムおよび/またはアルミニウムは、制御可能シャッタを備えた、加熱された流出セル内の適切なソースから供給され、エピタキシャル成長期間にMBEチャンバに供給される種の量を制御する。流出セルのシャッタ制御される出口および窒素供給管は、エピタキシャル成長が起こる基板の表面に面する。流出セルから供給されるアンモニアおよび種 (species) は、MBEチャンバをわたって移動し、基板に到達し、そこにおいて、エピタキシャル成長は、堆積の運動によって駆動されるように起こる。

【0006】MBEによる窒化ガリウムのエピタキシャル成長を向上させるために様々な提案がなされている。例えば、S. Striteらは、Section A. 2. 4、Handbook of Thin Film Process Technology、D. A. Gloucklerら編、Institute of Physics (1995) において、分子窒素を成長に必要な原子形態に変換するための窒化ガリウムのプラズマ増強MBEを開示している。しかし、プラズマソースを用いることは、ガリウムに対する窒素の有効比が小さいときのみ可能である。Proceedings of Materials Research Society、秋期ミーティング、米国、ボストン (1995年)、1から4頁におけるM. Kampら、およびProce

dings of Topical Work Shop on III-V Nitrides、日本、名古屋、(1995年) におけるM. Kampらは、実質的に、アンモニアを導入するための典型的なMBE反応器およびシステムであるものを用いて、アンモニアの熱クラッキングを誘発するための表面上クラッキング (OSC) と呼ばれる技術を開示している。この技術では、基板を比較的高温 (通常、800°C) にして最良の窒化ガリウム結晶特性を成し遂げるのに対して、アンモニア導入ノズルは、比較的低温に保持される。

【0007】GB-A-2066299は、分子線エピタキシャルによってドーピングされたIII-V合金層を成長させる方法を開示している。この方法では、III族種 (Gaおよび/またはIn) ならびにV族種 (Asおよび/またはP) は、真空チャンバ内に配置され、セルと、エピタキシャル成長が起こる基板との間にシャッタが備えられたシュラウドの内部に排出するように配置された各流出セルによって真空チャンバに供給される。V族種用のセルは、III族種用のセルよりも長く、2つの加熱ゾーンを有する。

【0008】EP-A-0633331およびEP-A-0565455は、分子線エピタキシャルによって高結晶性酸化物超伝導体膜 (例えば、Y-Ba-Cu-O型膜) を調製するためのプロセスを開示している。このようなプロセスにおいて、金属種は、流出セルから開口部が設けられた仕切プレート通って基板に供給され、酸素およびオゾン、ガス導入ノズルを介して基板付近に供給される。

【0009】EP-A-0540304は、不純物 (ドーパント) として窒素を含有するIII-V族化合物半導体の製造方法を開示している。窒素は、基板から離れた供給源を用いて比較的少量で供給され、この供給源は、気体窒素から窒素励起種 (例えば、N⁺、N₂⁺ およびN) を生成し、これらの種を基板の方へビームとして排出する。

【0010】日本特許抄録第13巻、592号 [C-671] (JP-A-1-249696) は、分子線エピタキシャルデバイスを開示している。このデバイスにおいて、As蒸発ソースなどのV族蒸発ソースは、他の蒸発ソースよりも基板により近接して配置され、分子線の無駄な散乱を防止する。

【0011】1997年6月10日に公開されたUS 5637146は、分子線エピタキシャルによる、GaN、InNおよびAlNならびにその合金などの半導体III族窒化物の成長方法を開示している。この方法において、窒素ソースは、RF励起プラズマソースまたは窒素熱クラッカを用いて高純度窒素を分離することによって生成される原子窒素である。原子窒素ソースは、15cm未満の距離だけ基板マニピュレータから離され、高窒素原子フラックスを生成し、このため高い成長レートが

提供される。III族種は、原子窒素ソースと基板マニピュレータとの間に配置され、原子窒素ソースよりも基板マニピュレータに近接しているガスインジェクタを介して有機金属化合物として供給される。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】従来より、MBEによるIII族窒化物エピタキシャル成長を向上させるための方法を提供するという課題があった。

【0013】本発明は、上記課題を鑑みて成し遂げられ、その目的は、分子線エピタキシによりIII族窒化物材料をエピタキシャルに成長させる改良方法を提供することである。

【0014】

【課題を解決するための手段】本発明による分子線エピタキシによってIII族窒化物材料の層を基板上に成長させる方法は、真空チャンバ内に基板を配置する工程と、真空チャンバ内の圧力を分子線エピタキシによるエピタキシャル成長に適切な圧力に減少させる工程と、アンモニアを第1の供給管の出口を通して該真空チャンバ内に供給し、該アンモニアを該基板にフローさせる工程と、III族元素を元素形態で第2の供給管の出口を通して該真空チャンバ内に供給し、該III族元素を該基板の方にフローさせ、これによって、III族窒化物を含有する層を分子線エピタキシによって該基板上に成長させる工程とを包含し、該第1の供給管の該出口が、該第2の供給管の該出口よりも該基板により近接して配置されており、それによって、上記目的が達成される。

【0015】前記圧力が、前記基板と前記真空チャンバの隣接する壁との間に配置され、該隣接する壁から間隔を置いて配置されている少なくとも1つの排気口を介して減少されてもよい。

【0016】前記アンモニアが、エピタキシャル成長が起こっている前記基板の表面に対し横向き方向(transverse)に排出されてもよい。

【0017】前記第1の供給管の前記出口が、 $0.1\alpha < x < 0.7\alpha$ である距離 x だけ前記基板の前記表面から間隔を置いて配置され、 α が、該基板の該表面と、前記第2の供給管の前記出口との間の距離であってもよい。

【0018】 $0.2\alpha < x < 0.5\alpha$ であってもよい。

【0019】 x が約 0.4α であってもよい。

【0020】前記アンモニアが、エピタキシャル成長が起こっている前記基板の表面を横切って(across)排出されてもよい。

【0021】前記第1の供給管の前記出口が、前記基板の側縁部に隣接して配置されていてもよい。

【0022】前記第1の供給管の前記出口が、 $0.0\beta < y < 0.7\beta$ である距離 y だけ前記基板の前記側縁部から間隔を置いて配置され、 β が、該基板の該側縁部と、前記真空チャンバの隣接する壁との間の距離であつ

てもよい。

【0023】 $0.1\beta < y < 0.3\beta$ であってもよい。

【0024】 y が約 0.1β であってもよい。

【0025】前記排気口と前記側縁部との間の距離 z が、 $0.0\gamma < z < 1.0\gamma$ であり、 γ が該側縁部と、前記真空チャンバの前記隣接する壁との間の距離であってもよい。

【0026】 $0.1\gamma < z < 0.3\gamma$ であってもよい。

【0027】 z が約 0.1γ であってもよい。

【0028】前記第1の供給管の前記出口が、該第1の供給管の該出口と前記基板との間の距離が、エピタキシャル成長期前または成長期中に調整され得るように調整可能であってもよい。

【0029】あるいは、本発明の装置は、上記方法を実施するように構成および適合されて装置であって、真空チャンバと、該真空チャンバ内の1つの位置に前記基板を支持するように配置されている支持体と、該チャンバに対する少なくとも1つの真空出口と、該真空チャンバに開口しているそれぞれの出口を有する第1および第2の供給管とを有し、該第1の供給管が、使用している該基板のに向けてアンモニアのフローを供給するように作用し、該第2の供給管が、III族元素を元素形態で供給するように作用し、該第1の供給管の該出口が、該第2の供給管の該出口よりも該位置により近接して配置されており、そのことにより上記目的が達成される。

【0030】本発明による分子線エピタキシによってIII族窒化物材料の層を基板上に成長させる方法は、真空チャンバ内に基板を配置する工程と、真空チャンバ内の圧力を分子線エピタキシによるエピタキシャル成長に適切な圧力に減少させる工程と、アンモニアを第1の供給管の出口を通して真空チャンバに供給し、アンモニアを基板にフローさせる工程と、III族元素を元素形態で第2の供給管の出口を通して真空チャンバに供給し、III族元素を基板の方にフローさせ、これによって、III族窒化物を含有する層を分子線エピタキシによって基板上に成長させる工程とを包含し、この方法において、第1の供給管の出口が、第2の供給管の出口よりも基板により近接して配置されている。

【0031】従って、第1供給管(アンモニア供給管)の出口を第2供給管(III族元素供給管)の出口よりも基板上の成長面に近接して配置するので、成長表面の領域にアンモニアフラックスが局部的に最大にできると共に、基板のエリアにわたって均一なフラックスを得ることができる。また、出口を近づけすぎたために第1の供給管の出口端の温度が、第1の供給管の出口端内でアンモニアが激しく分解する温度に到達するのを避けるように第1の供給管の出口を配置することも考慮される。このような温度は通常約 600°C である。従って、減圧後の真空圧力に従って、出口の温度が約 600°C を越えず、基板のアンモニア蒸気圧が1から 10^{-7}Pa (10

$^{-2}$ から 10^{-9} mbar) となるように第1の供給管の出口およびアンモニアのフローを位置づけることが好ましい。これは、基板に対する第1の供給管の出口の位置が特定のエピタキシャル成長期前または成長期中でも変化し得るように第1の供給管の出口を設けることによって容易になされ得る。

【0032】好ましくは、減圧の工程は、基板の領域から反応生成物を確実に素早く除去するように、真空チャンバ内に基板に隣接して配置されている排気口を用いて行われる。

【0033】本発明の方法により、高真空が真空チャンバ内全体において維持され、それによって、同一の真空チャンバ内で高真空適合機器、例えば、流出セルを用いることができる。この点において、言うまでもなく、第1の供給管は、分子線エピタキシャル成長工程に対して過剰に存在する必要があるアンモニアを供給し、従来のように配置されていた流出セルは、III族元素を元素の形態で供給するための第2の供給管を規定し得る。これによって、III族元素が、真空チャンバ内で分解し、III族元素を提供する有機金属ガスの形態で真空チャンバに供給される場合に発生し得る不純物を導入するという問題が緩和される。

【0034】アンモニアの出口は、III族元素の出口から基板に対して排出される元素を邪魔しない位置に配置され得る。

【0035】特定のエピタキシャル成長手法に必要な数の流出セルが、他の種を真空チャンバに供給するためにさらに設けられ得る。従って、本発明による方法は、さらに、少なくとも1つの他の供給管を通して、好ましくは元素形態で他の種を供給することを含み得る。

【0036】アンモニアの出口を規定する第1の供給管の端部は、単一の開口部またはオリフィスを有し得るか、または少なくとも2つの開口部またはオリフィス、例えば、シャワーヘッドのような開口部またはオリフィスの列を有し得る。

【0037】ある実施態様において、アンモニアは、エピタキシャル成長が起こる基板の表面に対して横向き、好ましくは垂直の方向に、アンモニアの出口を介して基板に対して排出される。これにより、基板のエリアにわたって種の均一なフラックスが確実に得られる。本実施態様において、第1の供給管の出口は、好ましくは、 $0.1\alpha < x < 0.7\alpha$ である距離 x だけ基板の表面から間隔を置いて配置される。 α は、基板の表面と、第2の供給管の出口との間の距離である。より好ましくは、 $0.2\alpha < x < 0.5\alpha$ 、最も好ましくは、 x は約 0.4α である。

【0038】他の実施態様において、アンモニアは、基板の表面を横切るように排出される。これは、第1の供給管の出口が使用中の基板の一方の側縁部に隣接して配置されるようにすることによってうまくなされ得る。好

ましくは、第1の供給管の出口は、 $0.0\beta < y < 0.7\beta$ である距離 y だけ基板の側縁部から間隔置いて配置され、 β は、基板の側縁部と、真空チャンバの隣接する壁との間の距離である。より好ましくは、 $0.1\beta < y < 0.3\beta$ であり、最も好ましくは、 y は約 0.1β である。

【0039】供給管を通して供給される種（例えば、アンモニア）の流量は、最高 10000 sccm (標準 $\text{cm}^3/\text{分}$) であり、装置のサイズに依存する。

10 【0040】真空チャンバを少なくとも1つの真空出口を介してポンプ装置に接続するのが特に好ましい。このポンプ装置は、超高真空をチャンバ内に維持するようなレート（例えば、装置のサイズによって 500 から $200,000 \text{ l s}^{-1}$ ）でポンピングし、基板における高アンモニアフラックスを可能にする。真空チャンバの全圧力は、約 10^{-1} から 10^{-9} Pa、通常約 10^{-3} Pa に減圧される。通常、真空チャンバの全圧力が約 10^{-1} Pa のとき、基板のアンモニア蒸気圧は、約 1 Pa であり得る。しかし、真空チャンバの全圧力が約 10^{-9} Pa であるとき、基板のアンモニアの蒸気圧は、約 10^{-7} Pa であり得る。従って、通常、基板におけるアンモニア蒸気圧は、真空チャンバ内の全圧力の約 10 から約 100 倍であり得る。

20 【0041】真空出口または真空チャンバに対するこのような出口の少なくとも1つは、好ましくは、真空チャンバに延びる排気管によって、好ましくは、真空出口が使用中の基板の側縁部に隣接して配置されるように規定されている。出口と基板との間の距離は、通常、 20 cm 未満である。真空出口と基板の側縁部との間の距離 z は、好ましくは、 $0.0y < z < 1.0y$ であり、 y は、基板の側縁部と、真空チャンバの隣接する壁との間の距離である。より好ましくは、 $0.1y < z < 0.3y$ であり、最も好ましくは、 z は約 $0.1y$ である。

30 【0042】排気管は、好ましくは、エピタキシャル成長が使用中に起こる基板の表面と実質的に平行で、配列される方向に延びている。アンモニアの供給管が、上記の実施態様のように、基板の側縁部に隣接して配置されている場合、真空出口または真空出口の少なくとも1つが、アンモニアの供給管の出口端に面するように基板の対向する側縁部に隣接して配置されるのが好ましい。

40 【0043】本発明の他の局面によると、本発明による方法を実施するように構築および設計されている装置であって、真空チャンバと、真空チャンバ内の1つの位置に基板を支持するように配置されている支持体と、チャンバに対する少なくとも1つの真空出口と、真空チャンバに開口しているそれぞれの出口を有する第1および第2の供給管とを有し、第1の供給管が、使用している基板に向けてアンモニアのフローを供給するように作用し、第2の供給管が、III族元素を元素形態で供給するように作用し、第1の供給管の出口が、第2の供給管

の出口よりもロケーションにより近接して配置されている、装置が提供される。

【0044】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施態様を添付の図面を参照しながら説明する。

【0045】ここで、図1を参照する。図1は、研究システムにおける分子線エピタキシによるGaN型半導体材料のエピタキシャル堆積用の装置を示す。この装置は、基板Sを支持し、加熱するように配置された熱せられている支持体12が設けられている真空チャンバ10を有する。真空チャンバ10は、真空チャンバ10内へと延びる排気管16を介して超高真空ポンプ14と接続している。排気管16の内部端は、真空チャンバ10の真空出口18を規定している。このような真空出口18は、基板支持体12と隣接して配置されている。この特定の実施態様において、真空出口18は、支持体12上の基板Sの隣接する側縁部から約30mmの距離Zだけ間隔を置いて配置され、排気管16は、エピタキシャル成長が起こる基板Sの表面の面に実質的に平行な方向に延びている。この距離Zは、約0.1yであり、ここでyは、基板Sの隣接する側縁部と、真空チャンバ10の隣接する壁との間の距離である。

【0046】真空チャンバ10には、第1供給管20がさらに設けられている。本発明によると、第1供給管20は、真空チャンバ内へと延び、第1供給管20の出口22がエピタキシャル成長が起こる基板Sの表面と隣接し、基板Sの表面に面する。第1供給管20は、チャンバ10に対して調整可能に設けられ、第1供給管20の出口22と基板Sのエピタキシャル成長表面との間の比較的小さな距離xは、エピタキシャル成長期間中に変化し得る。図1から理解され得るように、第1供給管20の長軸は、エピタキシャル成長表面に対して垂直である。

【0047】第1供給管20は、エピタキシャル成長プロセスに必要な窒素の前駆体であるアンモニアを供給するのに用いられる。第1供給管20の出口22が基板Sに比較的近接して配置されているため、比較的高いアンモニア蒸気圧がエピタキシャル成長する材料の表面に局在し、排気管16を介して真空チャンバ10と連通するポンプ14によって真空チャンバ10内の超高真空環境が可能となる。

【0048】装置はさらに、一對の独立操作可能なシャッタ制御される流出セル24および26を有する。流出セル24および26は、エピタキシャル成長手順中に必要とされ得るガリウム元素および他の元素（例えば、アルミニウムまたはドーパント）のソースを含む。流出セル24および26は、従来通りに配置され、第2供給管およびその他の供給管をそれぞれ規定する。これら最後に言及した供給管は、第1供給管20と比較して比較的ほんの少しだけ真空チャンバ内へと延びている。従っ

て、流出セル24および26によって規定される供給管への出口はそれぞれ、約250mmの距離 α だけ基板Sの表面から間隔を置いている。この距離は、このタイプの装置に対して従来から用いられている距離であり、出口22について上記で言及した距離xよりも大きい。この特定の実施態様において、xは、約100mm（約0.4 α ）である。

【0049】ここで、研究システムにおいて分子線エピタキシによりGaN膜を成長させるたの上記の装置の使用について記載する。

【0050】例えば、サファイヤSiC、GaAs、ZnO、Si、MgO、LiGaO₂、LiAlO₂、またはIn_xAl_{1-y}Ga_{1-x-y}N（ここで、0 \leq x \leq 1、0 \leq y \leq 1、およびx+y \leq 1）であり得る基板Sを、加熱された支持体12によって、約750℃の温度（約200から約1500℃の温度、より好ましくは、約550℃から約850℃の温度であってもよい）に加熱し、真空チャンバ10を約10⁻³Pa（10⁻³から10⁻⁹Paの範囲であってもよい）の圧力に減圧する。アンモニアガスを約10sccm（2から15sccmであってもよい）の流量で第1供給管20を通して真空チャンバ10に流す。この流量は、分子線エピタキシャル成長において通常用いられるアンモニア流量よりも高い。ポンプ14を約5000l s⁻¹（2000から6000l s⁻¹でもよい）のポンピング速度で操作する。このポンピング速度は、分子線エピタキシに通常用いられるポンピング速度の数倍であり、チャンバ10内の超高真空を維持しながら通常のアンモニア流量よりも高い流量を可能にする。このことと、第1供給管20の出口22が基板Sに比較的近接して配置されていることとより、成長面に局在する有効なアンモニアフラックスは、従来の分子線エピタキシ法と比較して大幅に増加することは確実である。

【0051】第1供給管20の出口22と、基板S上の成長表面との間の距離xは、基板S全体にわたってアンモニアフラックスの均一性を最適にし、成長温度が上昇したときに第1供給管20の内部端を過剰加熱しないように、エピタキシャル成長プロセス中にリアルタイムで調整され得る。

【0052】ガリウムは、流出セル24から、流出セル24に設けられたシャッタを適切に制御することによってそれ自体公知の方法で元素形態で制御可能に供給され、GaNのエピタキシャル成長を可能にする。セル26は、それ自体公知の方法で、必要に応じて、エピタキシャル成長材料に混入するためのアルミニウムもしくはインジウム、または元素形態のドーパントを供給するために用いられ得る。

【0053】ここで図2を参照する。図2は、第1供給管20の他の位置A、BおよびCを概略的に示す。二者択一的な位置Aのいずれかまたは両方は、ガスをできる

だけ基板Sに近接して出口端22から出ることを確実にし、基板Sからの放射熱が第1供給管20の内部端を部分的に過剰加熱しないように、必要に応じて選択され得る。さもないと、アンモニアが分解されてしまう。位置Bは、図1を参照しながら上述した位置に対応し、位置Aのいずれよりも好ましい。なぜなら、位置Bは、基板表面全体にわたってアンモニアを最も均一に供給することができるからである。位置Aのそれぞれに対する距離xは、位置Bに対する距離に対応する。

【0054】ガス位置Cでは、第1供給管20は、その軸が基板S上のエピタキシャル成長面に実質的に平行となるように配置される。図2から理解され得るように、本実施態様において、位置Cにおける第1供給管20の出口端22は、真空チャンバ10の真空出口18に隣接する側縁部に対向する基板Sの側縁部から約20mm（10から80mmでもよい）の短距離yだけ置いて配置される。本実施態様における距離yは、約0.1βであり、ここでβは、真空チャンバ10の隣接する壁と、この壁に関連する基板Sの側縁部との間の距離である。この配置では、アンモニアは、成長面全体にわたって濃縮ストリームとして供給され、エピタキシャル成長面上で分解または「クラック」し、窒素を形成する。第1供給管20の出口22をチャンバ10からの真空出口18に面するように位置づけ、エピタキシャル成長面をその間に配置することによって、高蒸気圧のアンモニアは、チャンバ10内の超高真空条件を低下させずに成長面を通り越すことができる。

【0055】エピタキシャル成長面付近にのみ高蒸気圧を提供することによって、アンモニアによる装置の構成要素の浸食の危険性も最小限に抑えられる。

【0056】図2から理解され得るように、第1供給管が位置Aまたは位置Bのいずれかにあるとき、第1供給管20は、両方向の矢印aによって示す方向に移動し得、第1供給管20が位置Cにあるとき、第1供給管20は、両方向の矢印bによって示される方向に移動し得る。第1供給管20のこのような移動は、エピタキシャ*

*ル成長期のいずれの段階でも行われ、アンモニアの所望のフラックスをエピタキシャル成長面に維持し得る。第1供給管20を、エピタキシャル成長プロセスにおけるGaまたは他の元素種の基板Sへのフローを妨げない位置に移動させてもよい。

【0057】エピタキシャル成長面近傍に高アンモニアフラックスが存在するにもかかわらず、チャンバ内に超高真空成長環境を提供すると、流出セル、ホットフィラメントゲージ、および従来のインサイチュ（in situ）モニタ機器（例えば、残留ガス分析用質量分析器、ならびに基板およびエピタキシャル膜質の検査用反射型高速電子線回折（RHEED）機器）などの従来の分子線エピタキシ機器の使用が可能になる。従来の分子線エピタキシにおけるように、エピタキシャル成長層の必要な組成は、特に、各流出セル24、26の温度によって、または各流出セル24、26に設けられたシャッタの開口によって変化させることが可能である。

【0058】

【発明の効果】上記のように、本発明によると、分子線エピタキシによりIII族窒化物材料をエピタキシャルに成長する改良方法が提供される。

【図面の簡単な説明】

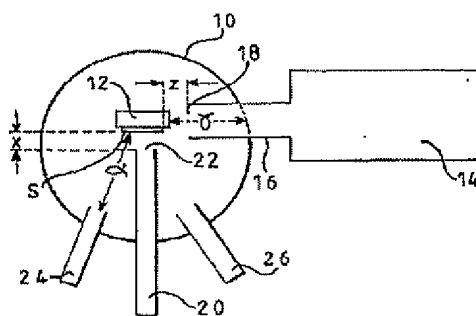
【図1】本発明による方法を実施するための研究型分子線エピタキシ装置の概略図である。

【図2】エピタキシャル堆積される種の1つのための供給管の他の配置を示す概略図である。

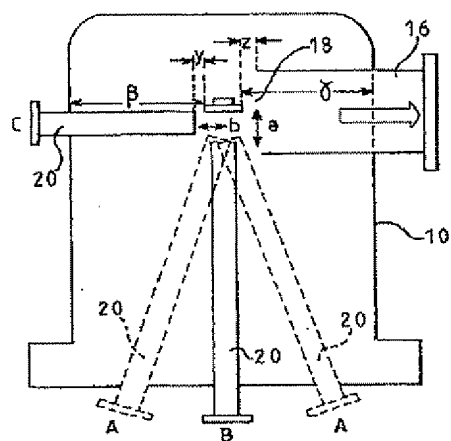
【符号の説明】

- 10 真空チャンバ
- 12 基板支持体
- 14 超高真空ポンプ
- 16 排気管
- 18 真空出口
- 20 第1供給管
- 22 出口
- 24 流出セル
- 26 流出セル

【図1】



【図2】



フロントページの続き

(72)発明者 ジェフリー ダガン
イギリス国 オーエックス15 0エスジェ
イ オクソン, デディントン, ハイ
ストリート 6/7, キングス コテー
ジ